

■ www.sintef.no ■

**Energiforsyningens
Forskningsinstitutt AS**

Adresse: 7034 Trondheim
 Telefon: 73 59 72 00
 Telefax: 73 59 72 50

F.nr.: 939 350 675

TEKNISK RAPPORT

SAK/OPPGAVE (tittel)

JORDINGSANLEGG I KRAFT- OG TRANSFORMATOR- STASJONER

Orientering for å angi hvor retningslinjer, krav og veiledning
for dimensjonering av elektrodeanlegg kan finnes her til lands.

SAKSBEARBEIDER(E)

Arne P. Brede



OPPDRAGSGIVER(E)

EFFEN Nett

TR NR. A4379	DATO 1996-01-31	OPPDRAGSGIVER(E)S REF. Jan A. Olsen	OPPLAG 150
GRADERING Åpen	PROSJEKTNR. 300332.05	PROSJEKTANSVARLIG Lars Rolfseng	ANTALL SIDER 20
ELEKTRONISK ARKIVKODE n:\dok\14\apb\95009548.tek		FAGGRUPPE/GRUPPELEDER	
ISBN 82-594-0896-1	RAPPORTTYPE 2, 3, 5, 6, 7	AVDELING/AVDELINGSLEDER Materialteknikk v/R. Hegerberg	



RESULTAT (sammendrag)

De overordnede retningslinjer er gitt i Forskrifter for Elektriske Anlegg-Forsyningsanlegg. Forskriftene er lite detaljerte når det gjelder utforming av elektrodeanlegg. Krav til begrensning av farlige berøringsspenninger er normalt bestemmende for utførelsen av jordingsanlegg. Både underlaget til og selve "Jordingshåndbok for elkraftanlegg" gir konkrete forslag til utforming av elektrodeanlegg.

STIKKORD

EGENVALGTE

Jordingsanlegg

Berøringsspenninger

Jordelektroder

Transformatorstasjoner

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
HOVEDRAPPORT:	
JORDINGSANLEGG I KRAFT- OG TRANSFORMATORSTASJONER	3
 VEDLEGGSRAPPORT 1:	
FORSKRIFTER FOR UTFØRELSE AV JORDINGSANLEGG	6
 V1.1 INNLEDNING	7
V1.2 REGLER OG KRAV	7
V1.3 PERSONSIKKERHET	8
V1.4 UTSTYR SOM SKAL JORDES	9
V1.5 DIMENSJONERENDE JORDFEILSTRØMMER	10
V1.6 REFERANSER	10
 VEDLEGGSRAPPORT 2:	
UTFØRELSE AV JORDING FOR FORSKJELLIG UTSTYR I KRAFT- OG TRANSFORMATORSTASJONER	12
 V2.1 INNLEDNING	13
V2.2 UTFORMING AV JORDINGSANLEGG	13
V2.2.1 Forskriftskrav	13
V2.2.2 Elektrodeanlegg for kraft- og transformatorstasjoner	14
V2.2.3 Lynvernanlegg	15
 V2.3 JORDING AV PROSESSELEKTRONIKK	16
V2.3.1 Hovedjordskinner	16
V2.3.2 Skjerming, jording, kabeltyper	17
 V2.4 MÅLING AV JORDINGSFORHOLDENE	17
V2.4.1 Måling av jordmotstand	18
V2.4.2 Måling av jordresistivitet	19
V2.4.3 Måling av skritt- og berøringsspenninger	19
 V2.5 REFERANSER	20

JORDINGSANLEGG I KRAFT- OG TRANSFORMATORSTASJONER

Orientering for å angi hvor retningslinjer, krav og veiledning for dimensjonering av elektrodeanlegg kan finnes her til lands.

De overordnede retningslinjer er gitt i Forskrifter for Elektriske Anlegg-Forsyningsanlegg. Forskriftene er lite detaljerte når det gjelder utforming av elektrodeanlegg. Krav til begrensning av farlige berøringsspenninger er normalt bestemmende for utførelsen av jordingsanlegg. Både underlaget til og selve “Jordingshåndbok for elkraftanlegg” gir konkrete forslag til utforming av elektrodeanlegg.

DET ER NØDVENDIG MED KOMBINASJONER AV ULIKE ELEKTRODEANLEGG

I hht. en av målsettingene innenfor EFFEN-prosjektet “Hovedtransformatorstasjoner” skal det utarbeides en rapport som oppsummerer krav og retningslinjer som gjelder for dimensjonering av jordingsanlegg og veiledning for hvordan slike anlegg rent fysisk kan utføres.

Innenfor det området som hører til kraft- eller transformatorstasjoner er det normalt nødvendig å ta hensyn til forskjellige jordingsformål. Personvernet blir vanligvis tatt hensyn til vha beskyttelsesjording, sikkerhetsjording og jording av lynvernanlegg. System- og avlederjording vil normalt sørge for overspenningsvern av apparater og utstyr. Vern mot funksjonsforstyrrelser og skade på apparater blir ivaretatt av EMC-jording.

Elektrodeanlegget i kraft- og transformatorstasjoner består derfor normalt av flere forskjellige elektrodeanlegg som er forbundet med hverandre gjennom hovedjordledere nedgravd i bakken. Disse elektrodeanleggene må i tillegg knyttes sammen med de delene av jordingsanleggene som ligger under og rundt bygninger samt jordelektroder og -skinner inne i bygninger og apparatanlegg. Maske-nett (jordnett), jordspyd, ringelektroder, horisontalt nedgravde jordledere og jordliner for kraftledninger og kraftkabler er de viktigste enkeltelektrodene som til sammen utgjør jordingsanlegget i slike stasjoner.

FORSKRIFTENE ER LITE DETALJERTE ANGÅENDE UTFORMING AV ELEKTRODEANLEGG

De generelle krav til jording er gitt i Forskrifter for Elektriske Anlegg- Forsyningsanlegg, (ET-1995-FEA-F), kapittel 4. Disse kravene gjelder utførelse av jordforbindelser og andre permanente tiltak for beskyttelse mot farlige skritt- og berøringsspenninger. I Forskriftenes §103 er det gitt generelle krav

til utførelse av elektrodeanlegg. Kravene er så generelle at de ikke kan brukes som veiledning for hvordan jordingsanleggene bør utformes.

Det er derfor nødvendig å støtte seg til andre referanser eller retningslinjer for å få synspunkter på hvordan elektrodeanlegg mest hensiktsmessig bør utformes. I vedleggsrapport 2 er det gitt flere henvisninger til hvor slik informasjon kan finnes her til lands. I tillegg finnes det svært mye internasjonal litteratur på dette området.

KRAV TIL MAKSIMALE BERØRINGSSPENNINGER VED FEIL HAR STOR BETYDNING FOR UTFØRELSEN AV ELEKTRODEANLEGG

Ved feilsituasjoner i kraftnett hvor hele eller deler av feilstrømmen flyter i jordsmonnet, vil det normalt kunne opptre farlige skritt- og berøringsspenninger. Disse spenningene er avhengig av strømfordeling og jordingsforholdene på de aktuelle stedene. De generelle krav til personsikkerhet er gitt i Forskriftenes §104. Det henvises forøvrig til vedleggsrapport 1 som er mer detaljert når det gjelder forskriftskravene og tolkning av innholdet i bl.a. §98 og §104.

Motstands- og strømfordeling i menneskekroppen gjør at det vanligvis er kravene til maksimale **berøringsspenninger** som blir avgjørende for utforming av jordingsanleggene. Størrelsen av f.eks. jordfeilstrømmer er bl.a. avhengig av nettets utstrekning og systemjording. Selv om spenning mot sann/fjern jord, som er bestemt av resulterende jordmotstand og feilstrøm på stedet, for et elektrodeanlegg langt overskrider kravene til berøringsspenninger, kan disse begrenses vha potensialutjevning. Innenfor et stasjonsområde kan dette f.eks. gjøres ved å grave ned ekstra jordelektroder eller å fylle på knuste steinmasser med lav ledningsevne. Vedleggsrapport 2 gir henvisninger til hvor relevant underlag for disse problemstillingene finnes.

FORSLAG TIL UTFORMING AV ELEKTRODEANLEGG ER TILGJENGELIG FRA FLERE KILDER

Her til lands har det stort sett vært elektroentreprenører, konsulenter, Telenor og Statnett (tidligere Statkraft) som har spesifisert hvorledes elektrodeanleggene bør utformes. EFI har gjennom flere år bistått disse med forskjellig dimensjoneringsunderlag og utført en rekke målinger som bl.a. everkene selv ikke har hatt anledning til å gjennomføre.

Det har skjedd store forandringer i anleggsteknikk både på høyspenningssiden og på kontroll- og overvåkingssiden de siste årene. Det har dermed blitt en konsentrasjon og blanding av forskjellige typer utstyr som opererer med høye og lave effekter. Dette har bl.a. resultert i et vanskelig elektromagnetisk miljø for elektroniske informasjonssystemer som arbeider med stor hastighet og lavt

effektnivå. Fra EFIs side ble det derfor for noen år siden tatt initiativ til å påbegynne arbeidet med en håndbok for jording av elkraftanlegg.

Som underlag til håndboken, som forøvrig forventes å bli ferdig i første kvartal 1996, er det ved EFI utarbeidet tre åpne tekniske rapporter. Rapportene gir eksempler på utforming av typiske jordingsanlegg for elkraftformål samt målinger og beregninger av jordmotstander. Induserte spenninger og strømmer i signal- og teleanlegg fra feilstrømmer i kraftnett er også behandlet. Rapportene inneholder mange referanser til relevant internasjonal litteratur. Det henvises forøvrig til vedleggsrapport 2 hvor innholdet i rapportene og håndboken er beskrevet nærmere.

VEDLEGGSRAPPORT 1

FORSKRIFTER FOR UTFØRELSE AV JORDINGSANLEGG

VEDLEGGSRAPPORT 1

FORSKRIFTER FOR UTFØRELSE AV JORDINGSANLEGG

Orientering for å vise hvilke retningslinjer som gjelder her til lands for dimensjonering og bygging av elektrodeanlegg for kraft- og transformatorstasjoner.

De overordnede krav og retningslinjer er gitt i Forskrifter for elektriske Anlegg - Forsyningsanlegg. Detaljerte forslag til utførelse av elektrodeanlegg blir angitt i “Jordingshåndbok for elkraftanlegg”. Det er ikke samsvar mellom Forskriftenes §98 og §104 i når det gjelder skritt- og berøringsspenninger og jordpotensial.

V1.1 INNLEDNING

For elektriske anlegg er det forskjellige målsetninger med jording:

- * personvern (beskyttelsesjording, sikkerhetsjording og jording av lynvernanlegg)
- * overspenningsvern av utstyr og apparater (systemjording og avlederjording)
- * vern mot funksjonsforstyrrelser og skader på apparater (EMC-jording)

De ulike målsetningene som er beskrevet ovenfor stiller ulike krav til utførelsen av selve jordingsanleggene/elektrodeanleggene. Forskjellige separate elektrodeanlegg blir derfor delvis brukt. Som hovedregel er de tilknyttet felles jordelektroder.

Basert på erfaring, gjennomgang av litteratur, retningslinjer og normer er prinsipielle krav til utførelse av jordingsanlegg for kraft- og transformatorstasjoner beskrevet i [1], vedleggsrapport 1.

I denne vedleggsrapporten omhandles hovedsakelig de **regler** og **forskrifter** som er retningsgivende her til lands for hvordan elektrodeanlegg i typiske kraft- og transformatorstasjoner skal utformes.

V1.2 REGLER OG KRAV

De internasjonale definisjoner med relasjon til jording, som er gitt av IEC, finnes spredd over flere forskjellige publikasjoner, f.eks. IEC 50 (121, 131, 151), IEC 50 (601, 604) og IEC 50 (826). Disse synes ikke å dekke alle de begreper som vanligvis anvendes her til lands. En del oversettelser til norsk finnes f.eks. i [2], [3], [4], [5] og [6].

De generelle norske forskriftskrav til jording i kraftanlegg finnes i [2], kapittel 4, og gjelder for utførelse av jordforbindelser og andre tiltak av permanent karakter som beskyttelse mot farlige

berørings- og skrittspenninger i og ved stasjons- og ledningsanlegg. De generelle krav til **systemjording**, tidligere ofte kalt driftsjording, er gitt i [2], §98. Systemjording er forøvrig behandlet mer detaljert i [7].

Direkte jordet nett må kun brukes dersom det finnes et relésystem som ved jordslutning hurtig kopler ut den delen av nettet/anlegget hvor feilen befinner seg. Med hurtig utkopling menes vanligvis utkopling innen 0,5 s, men lengre utkoplingstid kan aksepteres etter vurdering av **berøringspenning** og **faremomenter** i hvert enkelt tilfelle. Ved overgang fra spolejordet eller isolert nett til direkte jordet nett skal dette på forhånd tas opp med Telenor eller andre eiere av svakstrømsanlegg som vil kunne bli berørt av en slik endring.

Krav til **beskyttelsesjording** av stasjonsanlegg er gitt i [2], §100. Beskyttelsesjording er mer inngående behandlet i [1], kap. V1.4.

De generelle retningslinjene for hvordan jordingsanlegg (elektrodeanlegg) skal utføres er gitt i [2], §103. Jordelektroder skal bestå av kobber eller kobberkledd stål. Mer detaljerte forslag til hvordan elektrodeanlegg på ulike spenningsnivå kan bygges i hht. kravene i [2] er gitt i [8].

V1.3 PERSONSIKKERHET

Personssikkerheten for de som utfører arbeid på eller i nærheten av kraftanlegg skal ivaretas av kravene gitt i [4] og behandles derfor ikke i denne vedleggsrapporten. De generelle krav til personssikkerhet ovenfor farlige skritt- og berøringspenninger pga. feilstrømmer som flyter i jord eller i deler av jordingsanlegg er gitt i [2], §104, eventuelt supplert med [2], bilag 3.

Forskriftene stiller bl.a. krav til utførelsen av elektrodeanlegg slik at det settes øvre grenseverdier for både **skritt-** og **berøringspenninger** som funksjon av tiden feilstrømmer tillates å flyte i jordingsanleggene. Det settes også krav til maksimalverdier for størrelsen på **jordpotensialet**, spenning mot sann/fjern jord.

Norske forskrifter har ikke gitt særlig detaljerte krav til maksimale berøringspenninger som funksjon av feiltid. Noen utenlandske normer har angitt tillatte berøringspenninger som funksjon av feiltid vha. diagrammer, f.eks. VDE, IEEE og finske sikkerhetsforskrifter. I den senere tid har CENELEC TC11, WG02, utarbeidet et forslag til grenser for berøringspenninger ved **kraftledninger** som tar hensyn til feiltid og mulig overgangsmotstand mellom føtter og jord. Grensene er basert på 5% sannsynlighet for hjerteflimmer etter IEC Publ. 479. Mer detaljert omtale finnes i [8].

I forbindelse med forarbeidet til [8] ble det klart at det ikke var samsvar mellom §98 og §104 i [2]. Etter anmodning fra EFI har Produkt- og Elektrisitetstilsynet gitt sin fortolkning av disse paragrafene, [9]:

Første avsnitt i §98 er trukket tilbake. Spenningsgrensene i første avsnitt i §104 gjelder **berøringsspenninger** og ikke **spenning mot jord**.

Jordingen skal være utført slik at **berøringsspenningen** blir så lav som mulig. Ved enpolet jordslutning skal den ikke overstige 125 V. På mindre beferdede steder tillates 250 V som øvre grense. Der hvor disse spenningsgrensene ikke kan overholdes, må anlegget ha utstyr for hurtig og automatisk utkopling av vedkommende anleggsdel. Den automatiske utkoplingen skal foregå så hurtig at jordslutningen ikke medfører unødig skade.

Dersom det ikke er praktisk mulig å oppfylle bestemmelsene i §104 skal **berørings- og skrittspenninger** som kan oppstå i stasjoner og på terrenget rundt stasjonene begrenses til rimelige og så vidt mulig ufarlige verdier, [2], bilag 3.

Som **veiledning** på hva som anses for rimelige verdier for **skritt- og berøringsspenninger**, settes 125 V i de tilfeller hvor utkoplingstiden ved automatisk utkopling overstiger 0,5 s. På mindre beferdede steder kan denne verdien økes til 250 V. I de tilfeller hvor jordslutningsstrømmen utkoples automatisk etter maksimalt 0,5 s, kan en **berøringsspenning** på 250 V og en **skrittspenning** på 500 V anses for rimelige verdier.

V1.4 UTSTYR SOM SKAL JORDES

De generelle krav til hva som skal jordes i stasjonsanlegg er gitt i [2], §100. For høyspenningsanlegg skal alle metalldele jordes når de er i nærheten av spenningsførende deler eller kan komme i berøring med slike. Dette betyr at konstruksjonsdeler av metall i nærheten av maskiner, transformatorer, brytere og andre apparater skal jordes såfremt de ikke er montert på isolerende underlag og er beskyttet mot berøring.

Overspenningsavledere skal ha jordelektrode og jordledning sammenkoplet med beskyttelsesjordingen for høy- og lavspenningsdeler.

Ytre gjerder rundt områder for friluftstasjoner kreves vanligvis ikke forbundet med stasjonens jordinganlegg. I [2], bilag 3, er det gitt nærmere veiledning for hvordan farlige **skritt- og berøringsspenninger** i anlegg med direkte jordet nøytralt punkt kan begrenses. Jording av metalliske gjerder, rørledninger og sporanlegg er også omtalt i [8].

I §101, [2], er det beskrevet hvordan jordliner på kraftledninger skal forbindes til transformatorstasjoners jordingsanlegg. §102 beskriver hvordan høyspenningskabler skal koples til elektrodeanlegg.

I utendørsanlegg kan større sammenhengende stålkonstruksjoner, stålmaster e.l inngå som deler av **jordledninger**. Andre faste, ledende konstruksjonsdeler slik som f.eks. stativer og bærejern kan inngå som deler av **beskyttende** jordledninger for apparater eller annet utstyr plassert på disse. Brytere, skillebrytere og sikringer må imidlertid **ikke** innskytes i jordledninger.

V1.5 DIMENSJONERENDE JORDFEILSTRØMMER

Et elektrodeanlegg skal dimensjoneres slik at kravene til bl.a. skritt- og berøringsspenninger blir overholdt. Disse vil ved jordfeil være bestemt av bl.a. feilstrømmens størrelse, elektrodeanleggets overgangsmotstand til fjern/sann jord og strømfordelingen i jordsmonnet. I §103, [2], er det gitt krav til minste tverrsnitt og maksimalt tillatte strømtettheter for jordledninger. Minste tverrsnitt for jordledere av kobber er 25 mm² eller tilsvarende tverrsnitt for kobberkledd stål. Jordledninger skal være dimensjonert slik at jordslutningsstrømmene ikke skal forårsake skadelig oppvarming av ledninger og omgivelser. Ytterligere detaljer finnes i §103, [2], og [8].

For elektrode- og jordledninger som er nedgravd i bakken vil det normalt være kravene til mekanisk styrke og hensyn til korrosjon som bestemmer tverrsnittet. I praksis blir det hos everk ofte standardisert på bestemte tverrsnitt, f.eks. 70 og 120 mm². Avhengig av den jordfeilstrømmen som forventes kan det brukes en eller to jordledninger i parallell.

V1.6 REFERANSER

1. Brede, A.P., Høidalen, H.K., Rørvik, O., Seljeseth, H.: Jordingsarrangement i elkraftanlegg. Trondheim, EFI, 1994, (EFI TR A4185).
2. Produkt- og Elektrisitetstilsynet: Forskrifter for elektriske anlegg - Forsyningsanlegg. Oslo, 1994, (ET-1995-FEA-F).
3. Norges Vassdrags- og Energiverk (NVE): Forskrifter for Elektriske Bygningsinnstallasjoner m.m. Oslo, 1990, (FEB).

4. Norges Vassdrags- og Energiverk (NVE): Driftsforskrifter for høyspenningsanlegg med utfyllende orientering.
Oslo, 1988, (DH).
5. EFI: Jording av tekniske installasjoner i bygninger. Retningslinjer.
Trondheim, EFI, 1993.
6. Norsk Brannvern Forening: Lynvernanlegg for bygninger.
Oslo, 1992.
7. Brede, A.P., Seljeseth, H.: Systemjording av nøytralt punkt i det norske høyspente fordelings- og overføringsnett.
Trondheim, 1995, (EFI TR A4316).
8. EFI: Jordingshåndbok for elkraftanlegg.
Trondheim, 1996 (Under utarbeidelse, forventes ferdig 1. kvartal 1996).
9. Produkt- og Elektrisitetstilsynet: Brev til EFI: Forskrifter for elektriske anlegg- Forsyningsanlegg. Krav til skritt- og berøringsspenninger - Uoverensstemmelse mellom forskriftenes §98 og §104.
Oslo. 1995. (Ref: 95/711, OF).

VEDLEGGSRAPPORT 2

UTFØRELSE AV JORDING FOR FORSKJELLIG UTSTYR I KRAFT- OG TRANSFORMATORSTASJONER

VEDLEGGSRAPPORT 2

UTFØRELSE AV JORDING FOR FORSKJELLIG UTSTYR I KRAFT- OG TRANSFORMATORSTASJONER

Orientering for å vise hvor detaljert dimensjoneringsunderlag som kan anvendes her til lands finnes.

Med utgangspunkt i Forskrifter for Elektriske Anlegg, praktisk erfaring og internasjonal litteratur er det ved EFI utarbeidet tre tekniske rapporter som omhandler jordingsproblematikk inklusive vern av tele- og signalutstyr i elkraftanlegg. En håndbok for jording av elkraftanlegg er under utarbeidelse ved EFI og forventes ferdig i 1. kvartal 1996.

V2.1 INNLEDNING

Jord vil som regel være referansepotensial for isolasjonsholdfasthet for elektrisk utstyr. Jord eller jordete anleggsdeler finnes som regel i omgivelsene og spesielt hvis utstyret har metallkapsling som skal beskyttelsesjordes eller jordes for skjerming mot elektromagnetiske forstyrrelser. Disse formål for jording forutsetter at strøm skal kunne flyte til jordingsanlegget (elektrodeanlegget).

Når det flyter strøm i et jordingsanlegg oppstår det spenningsforskjeller mellom elektrodeanlegget og jordsmonnet omkring. Det oppstår også spenningsfall internt i selve jordingsanlegget, spesielt pga reaktans i jordledningene ved høye frekvenser. Transiente strømmen ved tordenvær, bryterkoplinger eller feil i nettet er noen slike eksempler. Derfor kan jordingsanlegget ikke forutsettes å være et ekvipotensial, men bare en mer eller mindre effektiv **potensialutjevning** avhengig av anleggets utforming og de strømmen som flyter i elektrodeanlegget.

V2.2 UTFORMING AV JORDINGSANLEGG

V2.2.1 Forskriftskrav

De norske forskriftskrav som har med jording i elkraftanlegg å gjøre finnes i [1], kapittel 4. Forøvrig henvises det til vedleggsrapport 1 som beskriver de **retningslinjer** og **krav** som gjelder her til lands for dimensjonering og utførelse av elektrodeanlegg.

Forskriftene er lite detaljerte når det gjelder utformingen av elektrodeanlegg både for kraft- og transformatorstasjoner. Til tross for at det internasjonalt eksisterer mye underlag og mange beskrivelser av elektrodeanlegg finnes det her til lands lite med systematisk og lett tilgjengelig veiledning for hvordan slike anlegg bør utføres. Statnett (tidligere Statkraft) har selv utarbeidet instruk-

ser for hvordan jording av egne stasjoner skal gjøres, [2]. En del everk som selv prosjekterer jordingsanlegg tar ofte utgangspunkt i disse retningslinjene. I tillegg finnes det også en del retningslinjer som er utarbeidet av elektroentreprenører og konsulentfirma som har ansvar for prosjektering av slike anlegg.

Ved EFI er det for tiden under utarbeidelse en “Jordingshåndbok for elkraftanlegg”, [3]. Hensikten med håndboken er bl.a. å systematisere underlag som finnes samt å gi praktiske råd og veiledninger for hvordan elektrodeanlegg bør utføres i hht. forskriftskravene på alle spenningsnivå. Som underlag for håndboken er det utarbeidet tre rapporter som alle tar for seg forskjellige emner som har med jording å gjøre, [4], [5], [6]. Grunnleggende definisjoner som er brukt i forbindelse med jording er angitt både i [3] og [4].

V2.2.2 Elektrodeanlegg for kraft- og transformatorstasjoner

Som **hovedjordledninger** regnes ledere som forbinder forskjellige **jordelektroder** i større anlegg. Hovedjordledere legges ofte langs kabelføringer og kan være isolerte eller uisolerte. De gir forbindelse til **jordskinner** som kan være plassert i forskjellige bygninger. Slike jordskinner danner utgangspunkt for jording av apparater av ulike typer, [3]. Hovedjordledningene deltar i fordeling av jordfeilstrøm. De kan føre en betydelig del av feilstrømmen dersom det er få jordledninger eller dårlige jordelektroder nær feilstedet og bedre elektroder et stykke unna. Eksempel på gode elektroder er **jordliner** langs kraftledninger eller jordkabler og **elektroder** i sjøen. Et **jordnett** (maskenett) virker både som jordelektrode og hovedjordleder. Det gjør også nedgravde, uisolerte hovedjordledninger.

Alle muligheter til å få elektroder i frostfri dybde må utnyttes, f.eks. fundamentjord, jordspyd eller horisontale kobberledere under eventuelle fyllinger.

Både jordelektroder og hovedjordledninger regnes som **hovedjording** og må dimensjoneres for å tåle høyeste aktuelle feilstrøm til jord med god margin også for fremtidig økning i feilstrømmen. Stasjonsanlegg bør dimensjoneres for topolet kortslutning. Dette betyr likevel ikke at hver enkelt jordleder må tåle hele jordfeilstrømmen hvis det er forgreninger som hindrer dette. Ofte vil det være hensynet til mekanisk eller kjemisk påkjenning som gir grunnlag for valg av ledertverrsnitt til jordelektrodene.

For elektrodeanlegg anbefales minimum 50 mm^2 kobber i frostfri dybde og 70 mm^2 hvor det kan oppstå telehiv, [3]. For store friluftsanlegg anvendes det normalt **regulære maskenett** i 0,5 - 1 m dybde som potensialutjevning og jordelektrode. Hensiktsmessig maskevidde er gitt av koplingsfeltens bredde. I lengderetningen bør maskevidden være litt mindre for 300-420 kV anlegg (f.eks. ca 10 m). Dessuten må maskevidden reduseres omkring spenningstransformatorer med kapasitiv

del, lynavledere, koplingstransformatorer for bærefrekvenssamband, ved krafttransformatorer og eventuelt ved master som bærer jordliner eller på annen måte er særlig utsatt for lynnedslag. Maskevidden bør her være av størrelsesorden 5x5 m. Det er også en fordel med redusert maskestørrelse ved randen av jordnettet fordi dette reduserer berøringsspenninger og fordiandområdet er den mest effektive del av jordnettet til å gi lav jordmotstand.

Dersom flere anlegg ligger nært hverandre innenfor samme stasjon, f.eks. kraftstasjon i fjell og fri-lufts koblingsanlegg eller transformatorstasjon med flere forskjellige høyspenningsnivå, skal alle elektrodeanleggene knyttes sammen direkte med **minst to jordledere** som skal tåle den maksimale strøm som kan flyte gjennom dem. Avstanden mellom disse lederne bør være så stor som praktisk mulig. I tillegg til disse jordlederne skal det være jordledere med minst 50 mm² kobber langs kabel-føringer til et eventuelt felles kontrollrom. Disse jordlederne skal imidlertid tilknyttes hovedjord ved inngangen til kontrollrommet og ikke føres inn i rommet.

V2.2.3 Lynvernbygg

Formålet med lynvernbygg (lynavledningsanlegg) er å gi bygninger eller andre tekniske anlegg nødvendig beskyttelse mot atmosfæriske overspenninger ved å redusere risikoen for tap og skade på mennesker, dyr og anlegg. Retningslinjer for hvordan lynvernbygg bør dimensjoneres er gitt bl.a. i [7].

Det skal være et **egget jordingsanlegg** i bakken for lynvernbygg. Det er meget viktig at den høy-frekvente impedansen (impulsmotstanden) blir så lav som mulig. Oppfangersystemet forbindes gjerne med en ring eller skinne langs kanten av taket og koples direkte til nedledere og jord-elektroden. Det er nødvendig med minimum 2-4 nedledere, f.eks. ved hjørnene av bygningen. Enda flere nedledere anbefales for svært store bygninger, gjerne med avstand ned til 10-15 m, avhengig av verneklasse. For bygninger som inneholder svært viktig og følsomt utstyr kan oppfangersystemet bestå av maskenett på taket (f.eks. 15 x 15 m).

Som jordelektrode anbefales en ring av kobbertråd eller en wire rundt bygningen i frostfri dybde. Denne ringen tilkoples intern hovedjording bare på hovedjordskinne ved inntak for kabler i **vanlige bygninger**. Ved **bygninger for elkraftanlegg** anbefales også innvendig ring av hovedjordleder og minst to forbindelser til utvendig jordingsring, [3]. I et friluftskoblingsanlegg vil master og jordliner fungere som oppfangere, og mastene i anlegget blir nedledere.

Et maskenett som jordelektrode er ideelt som potensialutjevning. Det må imidlertid i tillegg være supplert med fundamentjording, jordspyd eller underliggende horisontale jordelektroder dersom maskenettet ikke ligger i frostfri dybde eller hvis det ligger i dårlig ledende påfylt masse. Slike ekstra elektroder er særlig viktig ved de mastene som rager høyest og ved innføringen av kraft-ledninger som har høye eller høytliggende master.

Bygninger som ligger inne i friluftskopplingsanlegg blir normalt godt skjermet mot lynnedslag av master og anleggsdeler.

V2.3 JORDING AV PROSESSELEKTRONIKK

Med prosesselektronikk menes det her kontrollanlegg og apparater for relévern, styring, regulering, melding, måling og databearbeiding. EMC-spørsmålet er særlig viktig fordi mye av svakstrømsutstyret består av elektronikk med lavt signalnivå og vanligvis lavt isolasjonsnivå. Dette kan bety risiko for funksjonsforstyrrelser eller skade på apparater pga elektromagnetisk felt fra høy- og lavspenningsanlegg eller atmosfæriske utladninger.

Svakstrømsanlegg som er tilknyttet sterkstrømsanlegg gjennom transformatorer med adskilte viklinger hører under forskrifter for **svakstrømsanlegg**. Svakstrømsanlegg som er tilknyttet sterkstrømsanlegg på annen måte hører under forskrifter for **sterkstrømsanlegg**. Forhold som har betydning for størrelsen på induerte spenninger og strømmen i tele- og signalanlegg fra feilstrømmen i kraftanlegg er behandlet i [3] og [6]. Tiltak for å redusere påkjenningene i tele- og signalanlegg er også angitt i disse referansene.

Jording av industrielle automatiseringsanlegg er behandlet bl.a. i [8]. I tillegg finnes det retningslinjer som er utarbeidet av bedrifter eller organisasjoner som produserer komponenter og annet utstyr til svakstrømsanlegg.

V.2.3.1 Hovedjordskinner

I kontrollrom, relérom og telekommunikasjonsrom bør det være en ring av jordskinner på minst 50 mm² kobber rundt hele rommets omkrets. Skinnene forbindes til hovedjord og fundamentjord i minst to punkt. Dersom det er fare for store sirkulerende strømmen skal disse punktene være nært hverandre og nært hovedinntak for kabler til rommet.

Apparatstativ som monteres langs veggene jordes direkte til hovedjordskinnen. Langs apparatstativ inne i rommet legges det jordskinner av samme dimensjon fra vegg til vegg med tilknytning til hovedringen i begge ender. Jordskinnene legges normalt nær gulvhøyde med avgreininger oppover i de enkelte stativ. I telekommunikasjonsrom med tilknytning til antennemast kan det være hensiktsmessig å legge jordskinnen i takhøyde for å fange opp eventuelle lynstrømmer ved hjelp av flere nedledere langs veggene (fortrinnsvis i hjørnene og utvendig). Alle kabler bør i slike tilfeller føres inn i skaprekkene ovenfra, mens det for øvrig er mest vanlig med innføring nedenfra.

Det skal i størst mulig grad unngås å føre kontrollkabler parallelt med eller nært samleskinner, overspenningsavledere eller spenningstransformator med kapazitiv deler. For mer detaljert beskrivelse henvises det til [3].

V2.3.2 Skjerming, jording, kabeltyper

Både elektronikkutstyr og annet elektrisk utstyr som monteres i relé-, kontroll- eller telerom skal være i metallskap eller skjermede stativ. Rammeverk og plater skal ha innbyrdes god forbindelse, flatekontakt, og korte forbindelser til hovedjordskinne. God innbyrdes forbindelse mellom skap ved siden av hverandre kan oppnås ved å bolte dem sammen. Det er helt nødvendig med rene og gode kontakter. Interne jordskinner i skap, f.eks. for kabelskjermer, signalreferanse og PE, bør boltes fast til rammeverk i flere punkt fordi rammeverk og plater gir den aller beste potensialutjevning og skjermvirkning.

Alle kabler til kontrollutstyr, måling, relévern og kommunikasjon skal være skjermet. Som hovedregel skal skjermene jordes i begge ender. Denne jordingen må utføres med korte forbindelser, fortrinnsvis med skjermklammer direkte til jordskinne i apparatskap. Ved eksterne kabler, f.eks. fra friluft koplingsanlegg som eventuelt går gjennom koplingsskap ved inntak til rommet, bør skjermene også jordes der.

V2.4 MÅLING AV JORDINGSFORHOLDENE

Måling av jordingsforholdene vil normalt bli foretatt innenfor en av to hovedfaser ved nybygging av elektrodeanlegg:

- * Målinger kan foretas i planleggingsfasen for å gi underlag til utforming og dimensjonering eller for å avgjøre om området i det hele tatt er egnet til formålet. Grunnlaget for en slik analyse er måling av **jordresistiviteten** på stedet.
- * Målinger av **jordmotstanden** kan foretas under idriftsettingsfasen etter at elektrodeanlegget er etablert.

Resultater fra måling av jordmotstand kan avvike en del fra beregninger og skyldes normalt usikkerhet i verdien for jordresistiviteten. Resistiviteten kan variere i betydelig grad med jordsmonnets temperatur, fuktighet, dybde og bonitet. Formelverket som brukes for å beregne jordmotstander er vanligvis basert på homogent jordsmonn og er mangelfullt når det gjelder å ta hensyn til inhom-

geniteter i jorden. Metoder for måling av jordmotstand og -resistivitet er mer utførlig behandlet bl.a. i [5] og [3].

V2.4.1 Måling av jordmotstand

Hensikten med måling av jordmotstand kan oppsummeres i følgende punkt:

- * Kontrollere om et nytt elektrodeanlegg er tilfredsstillende
- * Dokumentere eventuelle endringer i jordmotstand for et eksisterende elektrodeanlegg etter forandringer i anlegget eller nettet
- * Oppdage utillatelige skritt- eller berøringsspenninger
- * Klarlegge eventuell økning i jordpotensial som kan kreve beskyttelsestiltak for signal- og kommunikasjonsanlegg
- * Rutinemålinger for å kontrollere om mindre elektrodeanlegg er intakte

Målinger både av jordmotstand og jordresistivitet utføres ved å plassere referanseelektroder i jorden, påtrykke en pulset strøm og måle spenningsfall langs jordoverflaten. Det må alltid legges stor vekt på sikkerhet under måling av jordingsforhold. Spesielt er det viktig å være klar over at det kan oppstå store potensialforskjeller mellom et etablert elektrodeanlegg og hjelpeelektroden.

Det er utviklet flere forskjellige metoder til å måle motstanden i forhold til fjern jord for elektrodeanlegg. Utstrekningen på selve elektrodeanleggene avgjør hvilken metode som bør benyttes. I elkraftanlegg vil de mest pålitelige resultatene vanligvis oppnås ved å bruke:

- * Potensialfallmetoden
- * Strøminjeksjonsmetoden

Potensialfallmetoden, som er basert på måling av motstand som funksjon av avstand (motstandsprofil) mellom elektrodeanlegget og hjelpeelektroden for strømmåling, bør brukes f.eks. for mastejordinger, jordingsanlegg for mastetransformatorer eller -kiosker. Motstanden mot fjern jord beregnes ut fra målingene.

Strøminjeksjonsmetoden benyttes ved måling av jordmotstand for store transformatorstasjoner. Det er i praksis nødvendig å bruke jordingsanlegget i en nærliggende transformatorstasjon som hjelpeelektrode. Målestrømmen, som normalt tas fra et mobilt strømaggregat, injiseres via en kraftledningsforbindelse mellom stasjonene til jord gjennom elektrodeanlegget i nabostasjonen. Jordmotstanden beregnes deretter ut fra måling av en eller flere motstandsprofiler.

Mer detaljert beskrivelse av målemetoder, fordeler og ulemper ved metodene og tiltak som kan gjøres for å redusere målefeil er utførlig behandlet i [5]. I [3] er det gitt en oppsummering av [5].

V2.4.2 Måling av jordresistivitet

For måling av jordresistivitet er det også utviklet flere metoder. For elkraftformål gir **Firepunkts-metoden** de mest pålitelige resultater og anbefales derfor brukt. Metoden er basert på at det benyttes fire hjelpeelektroder i bakken med isolerte tilledninger. Det påtrykkes strøm mellom de to ytterste elektrodene samtidig som spenningsfallet mellom de to midterste elektrodene måles.

Jordresistiviteten beregnes med utgangspunkt i spenningsmålingene.

De mest vanlige måleoppsettene under **Firepunktsmetoden** kalles:

- * Wenners metode
- * Schlumberger-Palmers metode

Wenners metode, hvor det er innbyrdes lik avstand mellom alle fire elektrodene som er plassert på en rett linje, blir oftest brukt og gir de mest pålitelige resultater. Ved **Schlumberger-Palmers** metode kan avstanden mellom de to midterste elektrodene være forskjellig fra avstanden mellom de to ytterste og de to innenforliggende elektrodene.

Mer detaljert beskrivelse av andre aktuelle målemetoder, fordeler og ulemper ved dem og tiltak som kan gjøres for å redusere målefeil er utførlig behandlet i [5].

V2.4.3 Måling av skritt- og berøringsspenninger

Måling av berøringsspenninger (ohm = volt/amp.) kan utføres med jordmotstandsmåler ved å plassere spenningselektroden 1 m fra den struktur måleobjektet er tilkople, [5]. Det skal da benyttes en standard plateelektrode på ca 400 cm² (eller 2x200 cm²) under trykk av kroppsvekt istedenfor spyd som spenningselektrode. Dessuten skal måleinstrumentet belastes med 1000 Ω (eller 3000 Ω) mellom spenningsterminalene på instrumentet. Internasjonalt normarbeid på dette området er for tiden i gang.

Måling av skrittspenning kan f.eks. gjøres med en jordmotstandsmåler med adskilt spenningskrets (4 terminaler). Skrittspenning (1 m skrittavstand) måles (ohm = volt/amp.) mellom standard plateelektroder (200 cm²) og med 1000 Ω (eller 3000 Ω) som shunt mellom spenningsterminalene på instrumentet, [5].

V2.5 REFERANSER

1. Produkt- og Elektrisitetstilsynet: Forskrifter for elektriske anlegg - Forsyningsanlegg. Oslo, 1994, (ET-1995-FEA-F).
2. Statkraft: Instruks for jording av Statkrafts stasjoner. Oslo. Foreløpig utgave 1990/91.
3. EFI: Jordingshåndbok for elkraftanlegg. Trondheim, 1996 (Under utarbeidelse, forventes ferdig i 1. kvartal 1996).
4. Brede, A.P., Høidalen, H.K., Rørvik, O., Seljeseth, H.: Jordingsarrangement i elkraftanlegg. Trondheim, EFI, 1994, (EFI TR A4185).
5. Brede, A.P., Høidalen, H.K., Pleym, A., Rørvik, O., Seljeseth, H: Underlag for beregninger og målinger på jordelektroder i forskjellige elkraftanlegg. Trondheim, EFI, 1995, (EFI TR A4254).
6. Brede, A.P., Gustavsen, B., Seljeseth, H.: Induserte spenninger og strømmer fra kraftledninger og kraftkabler til andre lednings-/kabelanlegg. Trondheim, 1995, EFI, (EFI TR A4319).
7. Norsk Brannvern Forening: Lynvern anlegg for bygninger. Oslo, 1992.
8. IFEA- Industriens Forening for Elektroteknikk og Automatisering: Jording i industrielle automatiseringsanlegg. Oslo, 1993, (Publ. 93.05-6).

SINTEF Energiforskning AS
Adresse: 7465 Trondheim
Telefon: 73 59 72 00

SINTEF Energy Research
Address: NO 7465 Trondheim
Phone: + 47 73 59 72 00